

A talajok tápanyagszolgáltató képességének vizsgálata kistenyészedényben I.

A növények foszforfelvételének és a talajok foszforállapotának kölcsönhatása

FÜLEKY GYÖRGY

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

Régi óhaja a trágyázással foglalkozó kutatóknak, hogy egy helyen több talajjal és több kezeléssel tudjanak kísérletet végezni. Ez az igény alakította ki a tenyészedény kísérletezést és ez eredményezte a tenyészedények méretének fokozatos csökkentését. Az utóbbi időben CHAMINADE [2], SCHENKEL [16, 17] és hazánkban többek között KOVÁCS [9] próbálkozott 1 kg-os nagyságrendű tenyészedények segítségével a talajok pillanatnyi és potenciális tápanyagellátottságát megállapítani. Sorozatunkban e kérdéskör néhány vonatkozásával szeretnénk foglalkozni.

Számos hazai szántóföldi kísérletben tapasztalhattuk és a műtrágyázási szaktanácsadási rendszerek is figyelembe veszik, hogy a talajok mészállapótól függően más értelmet kell tulajdonítani az azonos nagyságú AL-oldható foszfortartalomnak [14]. A talajokat foszforállapotuk szempontjából már 'SIGMOND [18] is „mészszegény és mészből gazdag talajokra osztotta”. „A mészdús talajoknál az asszimilálható foszforsav mennyisége felemelkedik anélkül, hogy a foszfortrágya hatása elmaradna”. Megállapítja, hogy „minél nagyobb a talaj lúgossági foka, ami a CaCO_3 tartalommal meglehetősen lépést tart, annál kisebb a híg salétromsavban oldható talaj-foszforsav átszajátíthatósága”. A CaCO_3 -nak a foszfor felvehetőségét csökkentő hatásáról a következőket írja [18]: „A nehezebben oldható foszforsav vegyületek azért hatástalannak, mivel a CaCO_3 a gyökerek oldóképességét annyira csökkenti, hogy a nehezebben oldható vegyületeket már nem képes feloldani. Ez a magyarázat arra, hogy meszes talajon — bár a foszfátok oldhatósága nagyobb, de a növények mégis kevesebb foszfort tudnak csak felvenni a talajból” [19]. 'SIGMOND véleményét a növényi foszforfelvétel és a talajok foszforállapota, illetve a mindkettőt nagymértékben meghatározó mészállapotról a következőkben foglalhatjuk össze:

- a CaCO_3 csökkenti a gyökerek oldóképességét;
- megszabja a talajban levő foszforvegyületek minőségét;
- a talajhoz adott monokalciumfoszfátot és szuperfoszfátot nehezebben oldható dikalciumfoszfáttá és trikalciumfoszfáttá alakítja, mely utóbbi felvehetősége a gyökerek csökkent oldóképessége következtében kicsi;
- a nem meszes talajokban levő foszfátok — jórészt vas- és alumíniumfoszfátok is kielégítik a növények foszforigényét.

A problémakört az utóbbi időben vizsgáló szerzők nagy része arra a következtetésre jutott, hogyha a talajt nemrég foszforral műtrágyázták, akkor a növények elsősorban az AL-foszfátot és könnyen oldható Ca-foszfátot tartalmazó CHANG—JACKSON-féle II. frakcióból veszik fel a foszfort [6, 7, 20, 22, 23], míg ha a közelmúltban a talaj nem volt foszforral trágyázva, akkor az összes szervesetlen foszfátfrakcióból képesek táplálkozni a növények [20]. Vízoldható foszfátokkal történő trágyázás esetén az Al-foszfát és Fe-foszfát frakcióban (a CHANG—JACKSON-féle II. és III. frakcióban) friss, amorf kicsapódási termékeket találunk, valamint könnyen kicserélhető, az agyagásványok felületén kötött Al- és Fe-foszfátokat [22]. A szerzők egy része ezért a Fe-foszfát frakciót is jó növényi foszforforrásnak tekinti [1, 3, 6, 7, 8, 22, 23, 24]. Ezzel a megállapítással ellenkező véleményt is találhatunk [10, 11], miszerint a növényi gyökerek és a Fe között versengés folyik a jól oldódó foszfát vegyületekért. Szerintük, ha a foszfor Fe-foszfát formába alakul, akkor elveszett a növények számára. Így tehát savanyú talajon a többi foszforvegyület Fe-foszfáttá történő átalakulását a növények számára felvehetetlenné válás folyamatának tekintették. Az eddig említett Al-foszfátot és könnyen oldható Ca-foszfátot tartalmazó II. frakció és a Fe-foszfátot tartalmazó III. frakció mellett néhány szerző az adszorbeált és talajoldatban levő foszfátokat tartalmazó CHANG—JACKSON-féle I. frakció növénytáplálkozási szerepét is kiemelte [8, 13]. A nehezen oldható Ca-foszfát frakció (CHANG—JACKSON-féle IV. frakció) csak ritkán szerepelt mint jó növényi foszforforrás [24].

Jelen munkánkban azt vizsgáljuk, hogy különböző magyarországi talajok esetében mely szervesetlen foszfátvegyületekből táplálkoznak a növények, miképpen befolyásolja a talajok mészállapota, valamint könnyen oldható foszfortartalma a növények foszforfelvételét, és hogyan hat vissza a talajok foszforállapotára, valamint könnyen oldható foszfortartalmára a kísérleti körülmények között létrehozott intenzív növényi foszforfelvétel.

Anyag és módszer

A kísérletben szereplő talajok tartamkísérletek foszforral nem trágyázott parcelláiról származnak. A tenyészedény kísérletet 1973. áprilisában indítottuk el 108 db 2 kg talajt tartalmazó edénnyel. 9 különböző talajjal dolgoztunk, a talajok néhány jellemző adatát az 1. táblázat tartalmazza. Mindegyik talajhoz 0–12–120–1200 ppm P foszfort adtunk poralakú szuperfoszfát alakjában, ugyanakkor edényenként 90 mg N-t és 75 mg K-t is bekevertünk (NH_4NO_3 és K_2SO_4 formájában). Egy-egy kezelést három ismétlésben állítottunk be, amelyikből kettőbe — 1 héttel a trágyázás után — angolperjét vetettünk, a harmadik edényt pedig növény nélkül hagytuk. Mindegyik edényt pF 2,7 vízkapacitás értékre öntöztük. Az angolperjét 3 hetenként vágtuk, összesen kilenceszer. Minden vágás után 90 mg N-t és 75 mg K-t adtunk a talajokhoz oldat formájában. A szárazanyag hozamot és a foszfortartalmat [21], 3 vágásonként egyesítve határoztuk meg (2. táblázat). A tenyészedénykísérlet befejezése után (27 héttel a trágyázás után) a talajokból elkülönítettük a gyökérmaradványokat és a légszáraz talajokból meghatároztuk a CHANG—JACKSON-féle szervesetlen foszfátfrakciók mennyiségét [5], és a könnyen oldható foszfortartalmat az ammóniumlaktátos (AL-P) és az OLSEN-féle NaHCO_3 -os módszerrel (OLS-P) [12, 15]. Ugyanekkor a növény nélkül 27 hétig érlelt tala-

1. táblázat

A tenyészedénykísérletek kiindulási talajainak néhány fontosabb jellemzője

(1) Talaj száma és helye	(2) Talajtípus	pH (H ₂ O)	(3) γ ₁	CaCO ₃ %	(4) Humusz %	(5) Leiszapolható részek %-a	(6) Kiindulási	
							AL-P ^o	OLS-P ^o
							tartalom ppm P	
1. Karcag	a) Réti csernozjom	6,2	9,5	—	3,4	78	6,4	5,2
2. Keszthely	b) Ramann féle barna erdőtálaj	6,7	5,0	—	2,0	50	11,2	5,2
3. Mosonmagyaróvár	c) Öntéstálaj	7,9	—	23,0	2,0	45	57,2	12,5
4. Nagykanizsa	d) Agyagbemosódásos barna erdőtálaj	5,6	10	—	1,6	50	15,0	11,2
5. Kompolt	e) Csernozjom barna erdőtálaj	5,6	19,0	—	3,8	71	17,2	13,8
6. Kécskémét	f) Futóhomok	7,9	—	4,1	1,0	11	45,6	7,7
7. Martonvásár	g) Erdőmaradványos csernozjom	7,7	—	1,1	2,8	62	22,4	8,6
8. Putnok	e) Csernozjom barna erdőtálaj	6,5	8,0	—	2,3	70	7,7	8,6
9. Nagyhörsök	h) Mészlepedékes csernozjom	7,8	—	4,5	3,4	53	24,1	7,3

* 1 ppm P = 0,23 mg P₂O₅/100 g talaj

jokban is elvégeztük az említett vizsgálatokat. A kétféle mintaanyag vizsgálati értékeinek a különbségeit tekintettük a továbbiakban a növényi tápanyagfelvétel hatására a talajban végbement változásnak. Így kívántuk kiküszöbölni az egyéb változások, — a 27 hét alatt bekövetkezett feltáródás, megkötődés, a trágyázott talajokban végbement spontán oldékonyság csökkenés stb. — zavaró hatását. A növénykísérlet nélküli talajokat a mintavétel után tovább érleltük, összesen 136 hétig. Ekkor ismét megmintáztuk a talajokat és elvégeztük az említett vizsgálatokat, majd e talajokkal beállítottunk egy második tenyészedénykísérletet is. Ebben 700 g talajra 1 g angolperjét vetettünk két ismétlésben. A fűtermést kétszer vágtuk le. A vetés előtt, valamint az első vágás után 100 mg N-t és 86 mg K-t adtunk a talajokhoz. A légszáraz fűmintákban meghatároztuk a foszfortartalmat (2. táblázat).

Eredmények és értékelésük

A felvetett kérdések megválaszolásához két úton juthatunk el: egyfelől a közvetett eljárással, amikor azt vizsgáljuk, hogy milyen szoros összefüggés van a talajok foszforállapota — az egyes szervetlen foszfátfrakciók mennyisége —, valamint a talajok könnyen oldható foszfortartalma és a növények által felvett foszfor mennyisége között. A közvetlen úton járva pedig azt mérjük meg, hogy mekkora változás következik be a talaj szervetlen foszfátfrakcióinak mennyiségében és a könnyen oldható foszfortartalomban a növényi foszforfelvétel hatására.

Először a közvetett, korrelációs számítással kapott eredményeket tekintjük át: A talajhoz adott 0–12–120–1200 ppm P foszfortrágyázás hatására az egyes talajok foszforállapotában különböző jellegű és mértékű változás tör-

2. táblázat
Az angolperje %-os P-tartalma és a kivont-P mennyisége

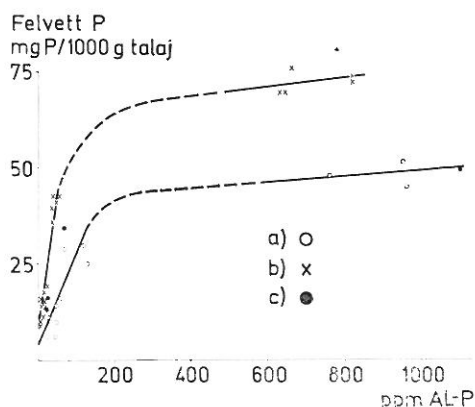
(1) Talaj száma*	(2) Az első kísérletben			(3) A má- sodik kísér- letben	(2) Az első kísérletben				(3) A második kísérletben
	1.-3.	4.-6.	7.-9.	1.-2.	1.-3.	4.-6.	7.-9.	1.-9.	1.-2.
	vágás				vágás				
	P%				mg P/edény				
10	0,18	0,18	0,18	0,14	8,2	8,0	4,2	20,4	3,4
11	0,22	0,23	0,20	0,16	12,4	10,4	4,8	27,6	4,3
12	0,55	0,47	0,40	0,30	33,6	21,0	17,2	71,8	11,3
13	0,92	0,71	0,75	0,59	67,6	46,0	39,2	152,8	24,6
20	0,17	0,18	0,15	0,16	8,2	5,4	3,8	17,4	4,3
21	0,27	0,25	0,22	0,17	16,0	10,0	5,4	31,4	5,0
22	0,66	0,53	0,44	0,41	43,2	20,8	20,0	84,0	13,6
23	0,85	0,76	0,77	0,60	63,6	50,2	35,2	149,0	24,8
30	0,24	0,23	0,22	0,17	11,6	10,8	6,4	28,8	4,7
31	0,25	0,25	0,28	0,20	13,6	11,2	7,8	32,6	5,7
32	0,51	0,39	0,35	0,29	28,4	16,6	14,8	59,8	8,8
33	0,74	0,68	0,59	0,37	43,2	32,8	20,0	96,0	13,2
40	0,24	0,23	0,22	0,21	11,6	8,6	7,4	27,6	7,8
41	0,28	0,25	0,25	0,25	15,0	9,2	9,8	34,0	8,7
42	0,62	0,50	0,41	0,48	40,6	23,0	19,4	83,0	24,4
43	0,75	0,69	0,74	0,62	47,4	37,6	38,6	123,6	28,5
50	0,26	0,24	0,24	0,18	13,2	9,8	7,4	30,4	6,7
51	0,29	0,27	0,26	0,18	16,4	11,6	9,2	37,2	6,9
52	0,52	0,47	0,44	0,35	37,0	25,4	22,0	84,4	14,4
53	0,89	0,71	0,74	0,59	74,0	37,4	30,4	141,8	26,8
60	0,19	0,20	0,21	0,15	7,8	3,6	1,8	13,2	3,3
61	0,25	0,21	0,28	0,18	11,6	5,0	3,2	19,8	5,2
62	0,56	0,44	0,42	0,29	29,4	9,8	10,2	49,4	9,5
63	0,72	0,83	0,68	0,51	49,2	28,0	27,6	104,8	18,1
70	0,22	0,22	0,21	0,15	10,6	9,4	6,4	26,4	3,7
71	0,25	0,23	0,23	0,18	12,2	11,2	8,6	32,0	4,8
72	0,50	0,41	0,39	0,30	30,0	19,6	19,2	68,8	10,0
73	0,78	0,71	0,63	0,36	48,8	25,8	25,6	100,2	13,7
80	0,19	0,23	0,20	0,15	9,4	8,4	5,0	22,8	4,1
81	0,22	0,25	0,23	0,18	13,2	9,8	6,0	29,0	6,1
82	0,54	0,48	0,38	0,36	38,4	23,2	18,2	79,8	11,7
83	0,81	0,77	0,79	0,60	61,4	39,6	46,0	147,0	22,1
90	0,15	0,15	0,16	0,15	6,0	4,4	1,8	12,2	3,1
91	0,21	0,19	0,18	0,16	10,6	7,8	4,6	23,0	4,0
92	0,48	0,19	0,18	0,28	28,4	16,0	14,0	58,4	8,9
93	0,74	0,65	0,55	0,39	45,4	25,6	19,2	90,2	12,7

* A talajszám első számjegye az 1. táblázatban feltüntetett talajokat jelenti, a második számjegy a P-adagokat (0 = 0 ppm P, 1 = 12 ppm P, 2 = 120 ppm P, 3 = 1200 ppm P)

tént. A fenti foszfortrágyázással kialakított könnyen oldható foszfortartalom (AL-P, illetve OLS-P), és az angolperje 9 vágása során felvett foszformennyiség (felvett-P) közötti összefüggést a 1., illetve 2. ábrán mutatjuk be. A szárazanyaghozam, illetve az angolperje %-os P-tartalma hasonló összefüggéseket mutatott a könnyen oldható foszfortartalommal, ezért a továbbiakban csupán a fenti két paramétert magában foglaló felvett-P értékekkel jellemzem a növények P-reakcióját.

A szervesetlen foszfátfrakciók mennyisége és a felvett-P között is hasonló jellegű összefüggéseket kaptunk. A görbék egy meredek lineáris szakasszal kezdődnek, majd egy, a mérési pontok hiánya következtében bizonytalan lefutású görbe-szakasz következik, végül ismételten egy lineáris, de kevésbé meredek szakasszal folytatódik a görbe. Az 1. ábrán látható, hogy külön összefüggés érvényes az AL-módszernél a karbonátos és a nem karbonátos talajokra. Ebből viszont az következik, hogy azonos felvett-P eléréséhez más AL-oldható foszfortartalom szükséges a karbonátos és a nem karbonátos talajokon. Így 20 mg P felvételéhez karbonátos talajokon 70 ppm P AL-P-tartalom, nem karbonátos talajokon pedig csak 20 ppm AL-oldható foszfortartalom szükséges.

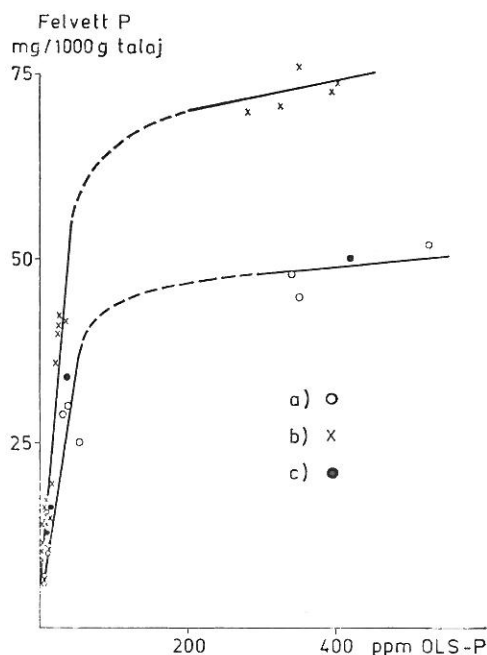
A továbbiakban a kérdés leegyszerűsítése érdekében a növények által felvett foszformennyiség és a talajok foszforállapota közötti összefüggést csak a fenti görbék első, meredek lineáris szakaszán vizsgáltuk. Erre a szakaszra esett az 1200 ppm P-s adag kivételével a többi foszforadaggal kialakított foszforállapot. Lineáris regresszióelemzéssel vizsgáltuk meg, hogy a talajok foszfortárgyázással létrehozott könnyen oldható foszfortartalma, valamint a szervesetlen foszfátfrakciók mennyisége milyen összefüggésben van a növények által felvett foszfor mennyiségével. Az összefüggéseket a 3. táblázatban feltüntetett egyenletek jelzik, ahol csupán a szignifikáns összefüggéseket mutatjuk be. Látható, hogy az összes talaj esetében az AL-P értékek 5%-os, az OLS-P értékek 0,1%-os valószínűségi szinten voltak összefüggésben az angolperje által felvett foszfor mennyiségével. A talajokat karbonátos és nem karbonátos csoportra bontva a csoporton belül nagymértékben javult az összefüggések szorossága. A martonvásári talaj (1% CaCO_3) általában nem a karbonátos talajokhoz hasonlóan viselkedett, ezért a regressziószámítás során e talajoknál vettem figyelembe.



1. ábra

A talajok ammóniumlaktát-oldható foszfortartalma (az első tenyészedénykísérlet befejezésekor) és az angolperje által felvett foszfor mennyiségének összefüggése.

a) Karbonátos talajok; b) Nem karbonátos talajok; c) Martonvásári talaj



2. ábra

A talajok NaHCO_3 -oldható foszfortartalma (az első tenyészedénykísérlet befejezésekor) és az angolperje által felvett foszfor mennyiségének összefüggése.

3. táblázat

Az angolperje által felvett foszformennyiség és a talajok foszfortartalma közötti lineáris összefüggések paraméterei

(1) Talajvizsgálat (x)	a	b	r	n
1. AL - P (összes talaj)	14,36	0,16	0,46*	27
2. AL - P (nem karbonátos talajok)	8,73	0,59	0,89***	18
3. AL - P (karbonátos talajok)	4,19	0,20	0,83**	9
4. OLS - P (összes talaj)	10,64	0,67	0,76***	27
5. OLS - P (nem karbonátos talajok)	7,06	1,15	0,94***	18
6. OLS - P (karbonátos talajok)	9,49	0,42	0,83**	9
7. I. frakció (nem karbonátos talajok)	12,46	3,83	0,62**	18
8. I. frakció (karbonátos talajok)	10,36	0,32	0,71**	9
9. II. frakció (összes talaj)	-0,20	0,70	0,92***	27
10. III. frakció (nem karbonátos talajok)	7,78	0,22	0,59**	18
11. III. frakció (karbonátos talajok)	-5,52	2,53	0,53*	9

$Y = a + bx$, ahol Y = a felvett-P mg/1000 g talaj, x = talajvizsgálati érték az első tenyész-edénykísérlet utáni talajban ppm P, a és b konstans paraméterek, n = mintaszám

*** = 0.1%-os; ** = 1%-os, * = 5%-os valószínűségi szinten szignifikáns összefüggés

A szervesetlen foszfátfrakciók közül az összes talajon csak a II. frakció (Al-foszfát és könnyen oldható Ca-foszfátok) foszfortartalma mutatott szoros összefüggést a növényi foszforfelvétellel. A többi frakció közül az I. (adszorbeált foszfát) frakció a karbonátos, a III. (Fe-foszfát) frakció pedig a nem karbonátos talajokon volt szorosabb összefüggésben a felvett foszfor mennyiségével. A IV. (nehezen oldható Ca-foszfát) frakció foszfortartalma egyáltalában nem mutatott összefüggést a tenyészedenyékísérletben az angolperje által felvett foszfor mennyiségével. A II. frakció foszfortartalma és az angolperje 9 vágása során felvett foszformennyiség közötti szoros összefüggés megerősíti az eddigi irodalmi eredményeket, miszerint a könnyen oldható Ca-foszfátokat és Al-foszfátot tartalmazó II. frakció foszfortartalma mind karbonátos, mind nem karbonátos talajokban foszfortrágyázás esetén és anélkül is a növényi foszforfelvétel egyik legfontosabb forrása.

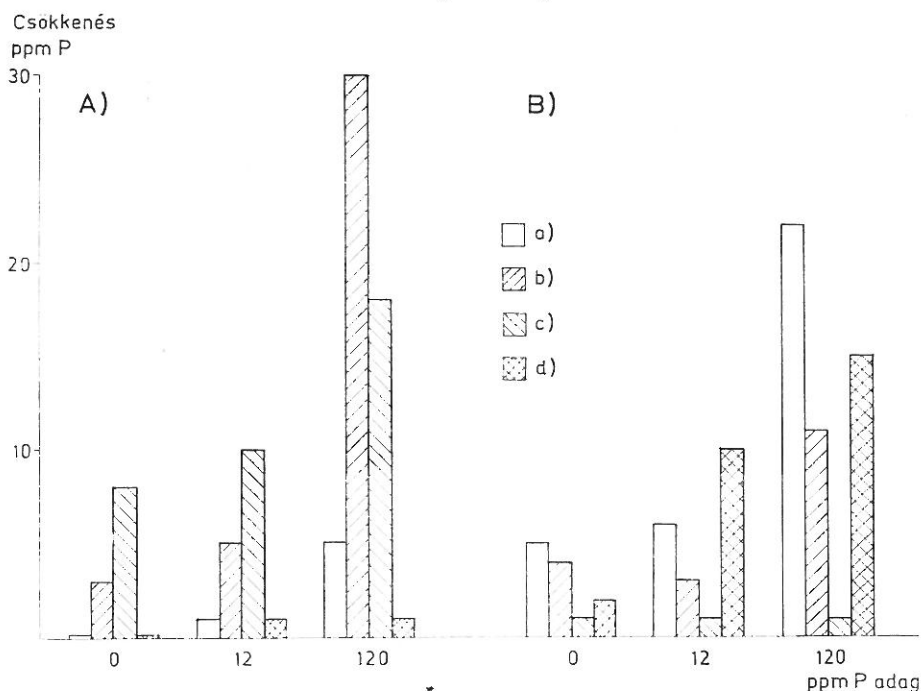
A 3. ábrán a közvetlen úton nyert eredményeket — vagyis a szervesetlen foszfátfrakciók mennyiségében a növényi foszforfelvétel hatására bekövetkezett csökkenéseket ábrázoltuk, a karbonátos és a nem karbonátos talajok átlagában. Ezt azért tehetjük, mivel a növényi foszforfelvétel hatására a karbonátos és a nem karbonátos talajokon az egyes szervesetlen foszfátfrakciók mennyisége jellegzetes tendencia szerint változott meg, és a bekövetkezett változások általában meghaladják a frakcionálási módszer hibáját [4, 5]. Az ábrán először azt célszerű megnézni, hogy a foszforral nem trágyázott talajokon mely szervesetlen foszfátfrakciók mennyisége csökkent a növényi foszforfelvétel hatására. Nem karbonátos trágyázatlan talajokon a növényi foszforfelvétel elsősorban a III. és II. frakció mennyiségét csökkentette. A 12 ppm P-adag esetében a csökkenés jellege ugyanaz volt, csupán megnövekedett az egyes frakciókból elvont foszfor mennyisége. A 120 ppm P-adag esetében legnagyobb mértékben a II. frakció, majd a III. és I. frakció mennyisége csökkent. Az 1200 ppm P-adag extremitása következtében az egyes szervesetlen foszfátfrakciók mennyiségében bekövetkezett változásokat nem részletezzük.

Karbonátos talajokon, amennyiben nem voltak foszforral trágyázva, a növényi foszforfelvétel az I., II. és IV. frakció mennyiségét csökkentette.

Foszfortrágyázás esetén a foszforadagok növekedésével egyre nagyobb mértékű lett e frakciók foszfortartalmának csökkenése. A karbonátos talajokon a III. (Fe-foszfát) frakció, nem karbonátos talajokon pedig a IV. (nehezen oldható Ca-foszfát) frakció volt az, melynek a mennyisége nem csökkent számottevően a növényi foszforfelvétel hatására.

A növényi foszforfelvétel hatására tehát azoknak a szervesetlen foszfátvegyületeknek a mennyisége csökkent, amelyek a foszfortrágyázás hatására leginkább megnövekedtek [4], vagyis ahol a foszfor az adott körülmények között a legkevésbé stabil formában volt. Ez a nem karbonátos talajok esetében az Al- és könnyen oldható Ca-foszfátokat, illetve Fe-foszfátot tartalmazó CHANG--JACKSON-féle II., illetve III. frakció, míg karbonátos talajoknál az adszorbeált foszfátokat és a különbözőképpen kötött Ca-foszfátokat tartalmazó I., II. és IV. frakció volt. Látható tehát, hogy hazánk nem karbonátos (savanyú) talajain a Fe-foszfát (III. frakció) megfelelő foszforforrásnak bizonyult, így az a foszformennyiség, amely e frakcióba épül be, az körülményeink között nem vész el a növények számára.

A könnyen oldható foszfortartalomnak (AL-P és OLS-P) a növényi foszforfelvétel hatására bekövetkező csökkenését a 4. ábrán mutatjuk be. Látható, hogy a 0–12–120 ppm P foszforadagok hatására megnövekedett növényi foszforfelvétellel lineárisan nőtt meg a talajok ALP- és OLS-P-tartalmában

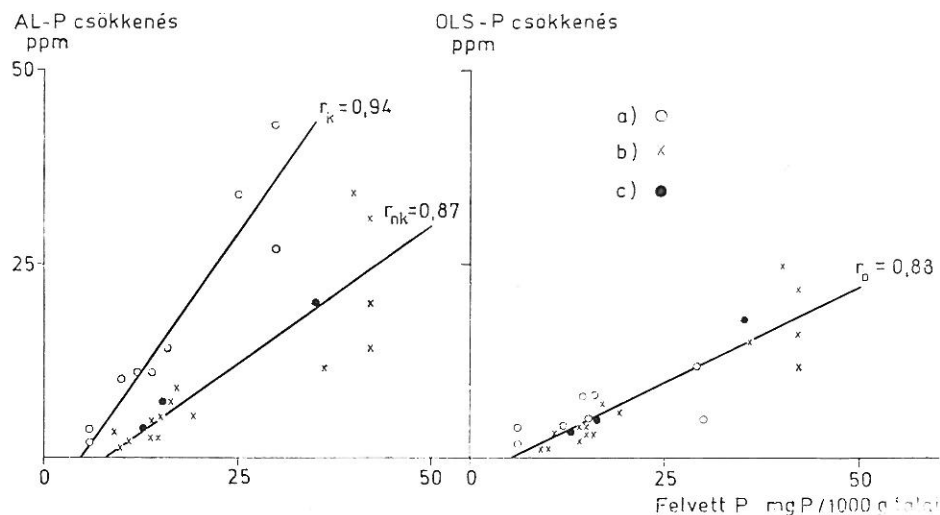


3. ábra

A szervesetlen foszfátfrakciók mennyiségének csökkenése növényi foszforfelvétel hatására különböző adagú P-trágyázás esetén. A) Nem karbonátos talajok átlagában; B) Karbonátos talajok átlagában; a) I. frakció (adszorbeált és talajoldatban levő foszfátok); b) II. frakció (Al-foszfát és könnyen oldható, savanyú Ca-foszfátok); c) III. frakció (Fe-foszfát); d) IV. frakció (nehezen oldható, bázisos Ca-foszfátok)

bekövetkező csökkenés. Azonos növényi foszforfelvétel hatására az AL-P értékek karbonátos talajokon csökkentek nagyobb mértékben, mint a nem karbonátos talajokon. A martonvásári talaj e tekintetben is a nem karbonátos talajokhoz viselkedett hasonlóan, így a regressziószámítás során itt is az utóbbi talajcsoportnál vettem figyelembe. Az OLS-P-tartalom a talajok mészállapotától függetlenül csökkent a növényi foszforfelvétel hatására. A két kivonószerezrel kimutatott foszfortartalomnak a növényi foszforfelvétel hatására bekövetkező csökkenéseit egybevetve megállapítható, hogy az OLS-P-tartalom azonos mennyiségű foszfor felvételekor kisebb mértékben csökkent, mint az AL-P-tartalom.

A 136 hétig érlelt talajokkal beállított tenyészedénykísérlet segítségével arra szeretnénk volna választ kapni, hogy a könnyen oldható foszfortartalom meghatározására szolgáló két módszer — az ammóniumlaktátos és a NaHCO_3 -os módszer közül — melyik van szorosabb összefüggésben a növényi foszforfelvétellel, a foszforműtrágyának a talajjal történő huzamos érintkezése során, vagyis melyik módszer tükrözi jobban a növények számára rendelkezésre álló foszforkészlet változását a foszfortrágyázás utáni időben. A kísérlet eredményei azt mutatják, hogy az OLSEN-féle NaHCO_3 -os módszer a talaj CaCO_3 tartalmától és a foszforműtrágyázás mértékétől függetlenül szorosabb összefüggésben van a tenyészedénykísérletben mutatott foszforfelvétellel. Ezt bizonyítják az első tenyészedénykísérlet eredményei is, ahol az AL-P-tartalom és a növények által felvett foszformennyiség között az összes vizsgált talaj esetében a 0, 12 és 120 ppm P foszforadagoknál csupán 5%-os valószínűségi szinten volt szignifikáns összefüggés ($r = 0,46$), míg ugyanebben a kísérletben az OLSEN-féle módszerrel nyert eredmények a felvett foszforral 0,1%-os valószínűségi szinten mutattak szignifikáns összefüggést ($r = 0,76$). A második tenyészedény-



4. ábra

A talajok könnyen oldható foszfortartalmában bekövetkező csökkenés növekvő növényi foszforfelvétel hatására. a) Karbonátos talajok; b) Nem karbonátos talajok; c) Martonvásári talaj; r_k = a korrelációs koeficiens értéke karbonátos talajok esetében, $n = 9$; r_{nk} = a korrelációs koeficiens értéke nem karbonátos talajok esetében, $n = 18$; r_o = a korrelációs koeficiens értéke az összes talaj esetében, $n = 27$

kísérletben nyert eredmények megerősítik a korábban kapott összefüggéseket, ez esetben ugyanis ismét az OLSEN-féle NaHCO_3 -os módszerrel nyert könnyen oldható foszfortartalom értékek voltak szorosabb összefüggésben az angolperje által felvett foszformennyiséggel. A tenyészedenykísérletben az angolperje 2 vágása során felvett P-mennyisége és a 136 hétig érlelt talajok ammóniumlaktát és NaHCO_3 -oldható foszfortartalma közötti összefüggéseket a következő egyenletek mutatják:

$$\begin{aligned}\text{Felvett-P} &= 8,08 + 0,05 \cdot \text{AL-P} & r &= 0,34 & n &= 27 \\ \text{Felvett-P} &= 3,56 + 0,36 \cdot \text{OLS-P} & r &= 0,81 & n &= 27\end{aligned}$$

Az első és második tenyészedenykísérletben kapott korrelációs együttható értékeket összehasonlítva megállapítható, hogy míg az NaHCO_3 -os módszer esetében javult az összefüggés szorossága (0,76, illetve 0,81), addig az ammóniumlaktátos módszernél gyengült (0,46, illetve 0,34). Ebből megállapítható, hogy az OLSEN-féle NaHCO_3 -os módszer jobban tükrözi a felvehető foszfortartalomban az idő során bekövetkező spontán változásokat, mint az ammóniumlaktátos módszer.

Érdekes megfigyelni a 2. táblázatban az angolperje %-os P-tartalom értékeit. A kis foszforadag, illetve a trágyázatlan kezelés esetében a P %-os mennyisége a növényben a vágások számának növekedtével alig változik, általában kismértékben csökken. A nagyobb foszforadagok esetében azonban már nagyobb mértékű a csökkenés. A karbonátos talajoknál a növények %-os P-tartalma — a nagyobb P-adagok esetében — mindig kisebb, mint a nem karbonátos talajoknál. Úgy tűnik, hogy a növények %-os P-tartalmának alakulásából is következtethetünk a talaj-műtrágya kölcsönhatások mértékére.

Összefoglalás

Kis tenyészedenyben angolperjével végzett intenzív növényi tápanyag-felvétel hatására nem karbonátos talajokban elsősorban a CHANG—JACKSON-féle II. és III. frakció (a könnyen oldható Ca-foszfátok és az Al-foszfát, valamint a Fe-foszfát) mennyisége, karbonátos talajokban pedig az I., II. és IV. frakció (az adszorbeált foszfátok, az Al-foszfát, valamint a különbözőképpen kötött Ca-foszfátok) mennyisége csökkent. Nem karbonátos talajoknál a IV. frakció (a nehezen oldható Ca-foszfátok) mennyisége, karbonátos talajoknál pedig a III. frakció (Fe-foszfátok) mennyisége számottevően nem csökkent a növényi foszforfelvétel hatására.

A talajok foszfortartalma és a növények által felvett foszfor mennyisége között általában külön összefüggés érvényes a karbonátos és a nem karbonátos talajokra. Az összes vizsgált talajra érvényes összefüggést csak a II. frakció foszfortartalma és az angolperje által kivont foszformennyiség között lehetett megállapítani. Mindezek alapján úgy tűnik, hogy az Al-foszfátot és könnyen oldható Ca-foszfátot tartalmazó II. frakció mind karbonátos, mind nem karbonátos talajokon, foszfortrágyázás esetén és anélkül is a növényi foszforfelvétel legfontosabb forrása.

A tenyészedenykísérletben az angolperje által kivont foszformennyiség szoros összefüggésben volt a talaj ammóniumlaktát- és NaHCO_3 -oldható foszfortartalmával. A talajokat karbonátos és nem karbonátos csoportokra bontva a csoportokon belül tovább javult az összefüggések szorossága. A tenyészedenykísérletben a növények által felvett foszformennyiség lineáris kapcsolatban

volt a talajok ammóniumlaktát- és NaHCO_3 -oldható foszfortartalmában bekövetkezett csökkenéssel. A karbonátos és a nem karbonátos talajokat együtt vizsgálva megállapítható, hogy a könnyen oldható foszfortartalom meghatározására szolgáló két módszer közül a NaHCO_3 -os módszerrel nyert eredmények szorosabb összefüggésben voltak a növényi foszforfelvétellel, mint az AL-módszerrel kapott adatok.

Irodalom

- [1] AL-ABRAS, A. H. & BARBER, S. A.: A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus: I. Correlation of soil phosphorus fractions with plant available phosphorus. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **28**, 218–221. 1964.
- [2] CHAMINADE, R.: Bilan de 3 années d'expérimentation en petits vases de végétation. *Agron. Tropic.* **20**, 1101–1162. 1965.
- [3] CHANG, S. C. & JACKSON, M. L.: Soil phosphorus fractions in some representative soils. *J. Soil Sci.* **9**, 109–119. 1958.
- [4] FÜLEKY, GY.: A talaj foszforállapotát és könnyen oldható foszfortartalmát befolyásoló fontosabb tényezők. Kandidátusi disszertáció. Budapest. 1977.
- [5] FÜLEKY, GY. & VARGA, GY.: A foszforvegyületek eloszlása jellegzetes hazai talajokban. *Agrokémia és Talajtan.* **23**, 41–52. 1974.
- [6] GRIGG, J. L.: Changes in forms of inorganic phosphorus in Lismore stony silt-loam due to application of superphosphate to pasture. *New Zealand J. Agric. Res.* **9**, 182–190. 1966.
- [7] HANLEY, K.: Soil phosphorus forms and their availability to plants. *Irish J. Agric. Res.* **1**, 192–193. 1962.
- [8] KHANNA, P. K.: Inorganic soil phosphate fractions as related to soil test values by common methods. *Plant and Soil.* **26**, 277–284. 1967.
- [9] KOVÁCS, K. & NAGYMIHÁLY, F.: Kistenyészédényes eljárás a talajok tápanyagellátottságának vizsgálatára. *Műsz. Fejl. Táj. Élelm. és Fagazd.* (5) 68–77. 1973.
- [10] LAVERTY, J. C. & McLEAN, E. O.: Factors affecting yields and uptake of phosphorus by different Crops. 3. Kinds of phosphate-native, applied and formed. *Soil Sci.* **91**, 166–171. 1961.
- [11] MASSEY, O. L., SHEARD, R. W. & MILLER, M. H.: Availability of reaction products of fertilizer phosphorus to alfalfa and brome grass seedlings. *Canad. J. Soil Sci.* **50**, 141–149. 1970.
- [12] OLSEN, S. R., et al.: Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium-bicarbonate. *US Dept. Agric. Circular.* No. 939. 1954.
- [13] RAM DEO & RUHAL, D. S.: Status and availability of P in calcareous soils of Rajasthan. *Ind. J. Agric. Sci.* **42**, 316–321. 1972.
- [14] SARKADI, J.: A műtrágyaigény becslésének módszerei. *Mezőgazd. Kiadó.* Budapest. 1975.
- [15] SARKADI, J., KRÁMER, M. & THAMM, F.-né: Kalcium- és ammónium-laktátos talaj-kivonatok P-tartalmának meghatározása aszkorbinsav-önkloridos módszerrel melegítés nélkül. *Agrokémia és Talajtan.* **14**, 75–86. 1965.
- [16] SCHENKEL, S. G.: Evaluation de la fertilidad un suelo, mediante la producción de materia seca en ensayos de macetas. I. Representaciones gráficas usadas. *Turrialba. Costa Rica.* **21**, 253–260. 1971.
- [17] SCHENKEL, S. G.: Evaluación de la fertilidad un suelo, mediante la producción de materia seca en ensayos de macetas. II. Diagram de fertilidad. *Turrialba. Costa Rica.* **21**, 263–270. 1971.
- [18] SIGMOND, E.: Új kémiai módszer a talajban előforduló asszimilálható foszforsav meghatározására. *Kísérletügyi Közlem.* **3**, 532–552. 1900.
- [19] SIGMOND, E.: Laboratóriumi módszer a talaj trágyaszükségletének meghatározására. *Kísérletügyi Közlem.* **32**, 198–226. 1929.
- [20] SMITH, A. N.: Fractionation of inorganic phosphorus in soils. The Chang and Jackson fractionation procedure: its limitation and uses. *AGRI Digest.* (17) 10–19. 1969.
- [21] THAMM, F.-né, KRÁMER, M. & SARKADI, J.: Növények és trágyanyagok foszfortartalmának meghatározása ammónium-molibdo-vanadátos módszerrel. *Agrokémia és Talajtan.* **17**, 145–156. 1968.
- [22] WERNER, W.: Kennzeichnung des pflanzenverfügbaren Phosphats nach mehrjähriger

- Düngung mit verschiedenen Phosphaten. Z. PflErnähr. Düng. Bodenkunde. **122**. 19–32. 1969.
- [23] WERNER, W. & WIECHMANN, H.: Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit der durch langjährige Phosphatdüngung angereicherten Bodenphosphats. Z. PflErnähr. Düng. Bodenk. **133**. 4–17. 1972.
- [24] ZUBRISKI, J. C.: Relationship between forms of soil phosphorus, some indexes of phosphorus availability and growth of sudangrass in greenhouse trials. Agron. J. **63**. 421–425. 1971.

Érkezett: 1978. október 24.

Nutrient Supply of Soil Measured in Small-Pots I. Interaction between Phosphorus Uptake of the Plants and Phosphorus Status of the Soils

G. FÜLEKY

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Buda pest

Summary

In small-pots the phosphorus uptake of ryegrass plants reduced first of all the quantity of easily soluble Ca-phosphates and Al-phosphate as well as Fe-phosphates (fraction II. and III. according to Chang and Jackson) in non-calcareous soils, and sorbed phosphates, Al-phosphate and differently soluble Ca-phosphates (fraction I., II., and IV.) on calcareous soils.

The relationship between the phosphorus content of the soil and phosphorus uptake is generally characterized by different parameters in calcareous and in non-calcareous soils. Significant relation is found only between the quantity of fraction II. and the phosphorus uptake of plants for all the studied types.

We may come to the conclusion that fraction II. (Al-phosphate and easily soluble Ca-phosphates) is the main phosphorus source of plants in both calcareous and non-calcareous soils with or without P fertilization.

In small-pots there were close relationship between the ammoniumlactate- and NaHCO_3 -soluble phosphorus content and the quantity of phosphorus taken up by the ryegrass plants. Dividing the soils into calcareous and non-calcareous groups, the closeness of the relationship is increasing. There were also linear relationship between the extent of phosphorus uptake and the rate of decrease of ammonium-lactate- and NaHCO_3 -soluble phosphorus content of soils during the vegetation period.

Considering the calcareous and non calcareous soils together, the NaHCO_3 -soluble phosphorus content a closer relationship with the phosphorus uptake of the plants, than the ammonium-lactate soluble phosphorus content.

Table 1. Main properties of the soils of pot experiment. (1) No. of soil and sampling site, (2) Type of the soil; *a*) Meadow chernozem, *b*) Rannann brown forest soil, *c*) Alluvial soil, *d*) Brown forest soil with clay illuviation, *e*) Chernozem brown forest soil, *f*) Blown-sand, *g*) Chernozem soil with forest remnants, *h*) Calcareous chernozem, (3) Hydrolytic acidity, (4) Humus, %, (5) Particles, which size is less than 0,01 mm, %, (6) Phosphorus content at the start of the pot experiment, ppm P.

Table 2. Phosphorus content and uptake of ryegrass. (1) No. of soil, the first figure means the soil in the Table 1., the second figure means the P dose (0 = 0 ppm P, 1 = 12 ppm P, 2 = 120 ppm P, 3 = 1200 ppm P), (2) In the first pot experiment, (3) In the second pot experiment.

Table 3. Parameters of the linear relationship between the phosphorus uptake of ryegrass and the phosphorus content of the soil. (1) Soil extraction (X): 1. ammonium-lactate soluble phosphorus, AL-P (all of the soils), 2. ammonium-lactate soluble phosphorus, AL-P (non calcareous soils), 3. ammonium-lactate soluble phosphorus, AL-P (calcareous soils), 4. NaHCO_3 -soluble phosphorus, OLS-P (all of the soils), 5. NaHCO_3 -soluble phosphorus, OLS-P (non calcareous soils), 6. NaHCO_3 -soluble phosphorus, OLS-P (calcareous soils), 7. fraction I. (non calcareous soils), 8. fraction I. (calcareous soils), 9. fraction II. (all of the soils), 10. fraction III. (non calcareous soils), 11. fraction III. (calcareous soils); $Y = a + bx$, where $Y = \text{P-uptake, mg/1000 g soil}$, $x = \text{phosphorus}$

content in the soil, after the first pot experiment, ppm P; a and b are constant parameters; n = number of samples; Levels of significance: xxx = 0,1%, xx = 1%, x = 5%.

Fig. 1. Relationship between the ammonium-lactate soluble phosphorus content of soils (after the first pot experiment) and the P-uptake of ryegrass. *a)* Calcareous soils, *b)* Non calcareous soils, *c)* Martonvásár soil.

Fig. 2. Relationship between the NaHCO_3 soluble phosphorus content of soils (after the first pot experiment) and the P-uptake of ryegrass. *a)* Calcareous soils, *b)* Non calcareous soils, *c)* Martonvásár soil.

Fig. 3. The rate of decrease of the inorganic phosphate fractions as affected by plant phosphorus uptake in the case of different P-doses. *A)* The average of the non calcareous soils, *B)* The average of the calcareous soils, *a)* Fraction I. (sorbed phosphates), *b)* Fraction II. (Al-phosphate and easily soluble, non basic Ca-phosphates), *c)* Fraction III. (Fe-phosphate), *d)* Fraction IV. (hardly soluble, basic Ca-phosphates).

Fig. 4. The rate of decrease of the available phosphorus content of soil as affected by plant phosphorus uptake. *a)* calcareous soils, *b)* non calcareous soils, *c)* Martonvásár soil, r_k = correlation coefficient in the case of calcareous soils, $n = 9$; r_{nk} = correlation coefficient in the case of non calcareous soils, $n = 18$; r_d = correlation coefficient in the case of all soils, $n = 27$.

Untersuchung der Nährstoffnachlieferungsfähigkeit der Böden im Kleingefäßversuch I.

Wechselwirkung der P-Aufnahme der Pflanzen und des P-Zustandes der Böden

G. FÜLEKY

Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrikulturchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest

Zusammenfassung

Als Folge der intensiven Nährstoffaufnahme von deutschem Weidelgras (*Lolium perenne* L.) in Kleingefäßversuchen (d. h. mit je 1 kg Boden) wurde in nicht-karbonathaltigen Böden in erster Reihe die Menge der anorganischen Phosphatfraktionen II und III (d. h. der leichtlöslichen Ca-Phosphate, der Al-Phosphate und der Fe-Phosphate nach Chang und Jackson), in karbonathaltigen Böden aber diejenige der Fraktionen I, II und IV (d. h. der adsorbierten Phosphate, der Al-Phosphate und der unterschiedlich gebundenen Ca-Phosphate) herabgesetzt. Die Menge der Fraktion IV (der schwerlöslichen Ca-Phosphate) in nicht-karbonathaltigen Böden, in karbonathaltigen Böden hingegen diejenige der Fraktion III (Fe-Phosphate) hat sich aber durch die Wirkung der pflanzlichen P-Aufnahme nicht wesentlich geändert.

Zwischen dem P-Gehalt der Böden und der durch die Pflanzen aufgenommene P-Menge gilt im allgemeinen eine andere Beziehung für Böden mit oder ohne Karbonat. Ein für alle untersuchten Böden gültiger Zusammenhang konnte nur zwischen dem P-Gehalt der Fraktion II und der durch das Weidelgras aufgenommenen P-Menge festgestellt werden. Auf Grund dessen scheint die Al-Phosphate und leichtlösliche Ca-Phosphate enthaltende Fraktion II sowohl in karbonathaltigen, wie auch in nichtkarbonathaltigen Böden im Falle von P-Düngung und auch ohne diese die wichtigste P-Quelle der Pflanzen zu sein.

Die durch das Weidelgras entzogene P-Menge war im Gefäßversuch in engem Zusammenhang mit dem AL- und NaHCO_3 -löslichen P-Gehalt des Bodens. Wenn die Böden in karbonathaltige und in solche ohne Karbonat eingeteilt wurden, wurde innerhalb der einzelnen Gruppen der Zusammenhang enger. Im Gefäßversuch korrelierte die P-Aufnahme der Pflanzen linear mit der Abnahme des AL- und NaHCO_3 -löslichen P-Gehaltes der Böden. Bei der gleichzeitigen Untersuchung von karbonathaltigen und nicht karbonathaltigen Böden korrelierten die NaHCO_3 -P-Werte enger mit der pflanzlichen P-Aufnahme als die AL - P-Werte.

Tab. 1. Einige wichtigere Kennwerte der Ausgangsböden. (1) Nummer und Herkunftsort der Böden. (2) Bodentyp: *a)* Wiesentschernosjomboden; *b)* Ramann'scher brauner Waldboden; *c)* Alluvialböden; *d)* Brauner Waldboden mit Toneinwaschungen;

f) Laufsand; g) Tschernosjomboden mit Waldresten; h) Tschernosjomboden mit Kalkhüllen; (3) Hydrolytische Azidität; (4) Humus %; (5) Abschlümmbare Teile, %. (6) P-Gehalt zu Versuchsbeginn, ppm.

Tab. 2. P-Gehalt des Weidelgrases (in %) und die aus dem Boden extrahierte P-Menge. (1) Nummer des Bodens*. (* = Die erste Ziffer der Nummer bezieht sich auf die in Tab. 1. angeführten Böden, die zweite bedeutet die P-Gaben: 0 = 0 ppm P, 1 = 12 ppm P, 2 = 120 ppm P, 3 = 1200 ppm P. (2) Im ersten Versuch. (3) Im zweiten Versuch.

Tab. 3. Parameter des linearen Zusammenhanges der vom Weidelgras aufgenommenen P-Menge und dem P-Gehalt der Böden. (1) Bodenuntersuchung (x): 1. AL-P (alle Böden); 2. AL-P (Böden ohne Karbonat); 3. AL-P (Böden mit Karbonatgehalt); 4. NaHCO_3 -P (alle Böden); 5. NaHCO_3 -P (Böden ohne Karbonat); 6. NaHCO_3 -P (Böden mit Karbonatgehalt); 7. Fraktion I (Böden ohne Karbonat); 8. Fraktion I (Böden mit Karbonatgehalt); 9. Fraktion II (alle Böden); 10. Fraktion III (Böden ohne Karbonat); 11. Fraktion III (Böden mit Karbonatgehalt). $Y = a + bX$, wenn X das aufgenommene P mg/1000 g Boden ist. X = Bodenuntersuchungswert (in ppm P) nach dem ersten Gefäßversuch; a und b sind Konstante. Der Zusammenhang ist bei 0,1% = ***; 1% = **; 5% = * signifikant.

Abb. 1. Zusammenhang zwischen dem AL-löslichen P-Gehalt der Böden (bei Beendigung des ersten Gefäßversuches) und zwischen der durch das Weidelgras aufgenommenen P-Menge. a) Böden mit Karbonatgehalt; b) Böden ohne Karbonatgehalt; c) Boden aus Martonvásár.

Abb. 2. Zusammenhang zwischen dem NaHCO_3 -löslichen P-Gehalt der Böden (bei Beendigung des ersten Gefäßversuches) und zwischen der durch das Weidelgras aufgenommenen P-Menge. a) Böden mit Karbonatgehalt; b) Böden ohne Karbonatgehalt; c) Boden aus Martonvásár.

Abb. 3. Abnahme der anorganischen Phosphatfraktionen durch die pflanzliche P-Aufnahme im Falle von verschiedenen P-Düngergaben. A) im Mittel der Böden ohne Karbonatgehalt; B) im Mittel der Böden mit Karbonatgehalt; a) Fraktion I (adsorbierte Phosphate und solche in der Bodenlösung); b) Fraktion II (AL-Phosphate und leichtlösliche, saure Ca-Phosphate); c) Fraktion III (Fe-Phosphate); d) Fraktion IV (schwerlösliche, alkalische Ca-Phosphate).

Abb. 4. Abnahme des leichtlöslichen P-Gehaltes der Böden infolge zunehmender pflanzlicher P-Aufnahme. a) Böden mit Karbonatgehalt; b) Böden ohne Karbonatgehalt; c) Boden aus Martonvásár; r_k = Korrelationskoeffizient im Falle von Böden mit Karbonatgehalt, n = 9; r_{nk} = Korrelationskoeffizient im Falle von Böden ohne Karbonatgehalt, n = 18; r_o = Korrelationskoeffizient im Falle aller Böden, n = 27.

Изучение в микровегетационных опытах обеспеченности почв питательными веществами I.

Связь между содержанием в почве различных форм фосфора и усвоением фосфора растениями

Д. ФЮЛЕКИ

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии Венгерской Академии Наук, Будапешт

Резюме

Опыты с английским райграсом проведенные в микровегетационных сосудах показали, что под влиянием интенсивного усвоения растениями питательных веществ в некарбонатных почвах снижается содержание II.—III. фракций по Чанг—Джексону (легкорастворимые Са-фосфаты, AL-фосфаты, а также Fe-фосфаты), в карбонатных почвах — I., II. и IV. фракций (адсорбированные фосфаты, AL-фосфаты, различным образом связанные Са-фосфаты). Усвоение растениями фосфора не оказало значительного влияния на снижение содержания в некарбонатных почвах IV. фракции (труднорастворимые Са-фосфаты), в карбонатных почвах III. фракции (Fe-фосфаты).

Между содержанием фосфора в почве и количеством фосфора усвоенного растениями существует зависимость, действительная только для некарбонатных или только для кар-

бонатных почв. Зависимость действительную для всех почв установили только в отношении содержания и усвоения английским райграссом II. фракции фосфора. На основании этого можно предполагать, что II. фракция, содержащая AL-фосфат и легкорастворимый Са-фосфат, как на карбонатной, так и на некарбонатной почвах, при внесении фосфорных минеральных удобрений и без них, является для растений самым важным источником фосфора. Количество фосфора, усвоенного английским райграссом в вегетационных опытах, тесно зависило от содержания в почве фосфора, растворимого в лактате аммония и NaHCO_3 . При разделении почв на карбонатные и некарбонатные эта зависимость по группам еще теснее. Установили линейную зависимость между количеством фосфора, усвоенного растениями в вегетационных опытах и снижением содержания в почве фосфора, растворимого в лактате аммония и NaHCO_3 .

Изучая одновременно карбонатные и некарбонатные почвы можно установить, что из двух методов, служащих для определения содержания легкорастворимого фосфора, результаты полученные методом NaHCO_3 показали более тесную связь с усвоением фосфора растениями, по сравнению с методом растворения в лактате аммония.

Табл. 1. Некоторые важные свойства исходных почв использованных в вегетационном опыте. (1) Номер почвы и место залегания. (2) Тип почвы: а) Луговой чернозем. б) Бурая лесная почва по Раману. с) Аллювиальная почва. d) Иллимизированная бурая лесная почва. е) Черноземовидная бурая лесная почва. f) Сыпучий песок. g) Лесоостаточный чернозем. n) Мицелярный чернозем. (3) Гидролитическая кислотность. (4) Гумус в %. (5) Иллитная фракция %. (6) Исходное содержание фосфора в ppm.

Табл. 2. Процентные содержание фосфора в английском райграссе и количество усвоенного фосфора. (1) Номер почвы (первая цифра в номере почвы означает типы почв, указанные в таблице 1., вторая цифра означает дозы фосфора 0 = ppm, 1 = 12 ppm P, 2 = 120 ppm P, 3 = 1200 ppm P). (2) В первом опыте. (3) Во втором опыте.

Табл. 3. Параметры линейной зависимости между фосфором усвоенным английским райграссом и содержанием фосфора в почве. (1) Анализ почвы (x): I. Фосфор растворимый в лактате аммония (все почвы); 2. Фосфор растворимый в лактате аммония (некарбонатные почвы); 3. Фосфор растворимый в лактате аммония (карбонатные почвы); 4. Фосфор по Олсену (все почвы); 5. Фосфор по Олсену (некарбонатные почвы); 6. Фосфор по Олсену (карбонатные почвы); 7. I. фракция (некарбонатные почвы); 8. II. фракция (карбонатные почвы); 9. II. фракция (все почвы); 10. III. фракция (некарбонатные почвы); 11. III. фракция (карбонатные почвы). $Y = a + bx$, где Y = количество усвоенного фосфора в мг/1000 г почвы, x = количество фосфора в ppm, оставшееся в почве после первого опыта, а и b константы, n = количество образцов. xxx = зависимость достоверна на 0,1% уровне; xx = на 1% уровне; x = на 5% уровне.

Рис. 1. Зависимость между содержанием в почвах фосфора растворимого в лактате аммония (в момент окончания первого вегетационного опыта) и количеством фосфора усвоенным английским райграссом. а) Карбонатные почвы. б) Некарбонатные почвы. с) Почва из Мартонвашара.

Рис. 2. Зависимость между содержанием в почвах фосфора растворимого в NaHCO_3 (в момент окончания первого вегетационного опыта) и количеством фосфора усвоенным английским райграссом. а) Карбонатные почвы. б) Некарбонатные почвы. с) Почва из Мартонвашара.

Рис. 3. Снижение содержания неорганических фракций фосфора под влиянием усвоения фосфора растениями при различных дозах внесения фосфорных минеральных удобрений. А) В среднем по некарбонатным почвам. В) В среднем по карбонатным почвам. В) В среднем по карбонатным почвам. а) I. фракция (адсорбированные и находящиеся в почвенном растворе фосфаты); б) II. фракция (Al-фосфат и легкорастворимые, кислые Са-фосфаты); с) III. фракция (Fe-фосфат); IV. фракция (труднорастворимые, базисные Са-фосфаты).

Рис. 4. Снижение содержания в почвах легкорастворимого фосфора под влиянием увеличивающегося усвоения фосфора растениями. а) Карбонатные почвы; б) Некарбонатные почвы; с) Почва из Мартонвашара; r_k = коэффициент корреляции для карбонатных почв. $n = 0$, r_{nk} = коэффициент корреляции для некарбонатных почв, $n = 18$; r_o = коэффициент корреляции для всех почв, $n = 27$.